# 不同高粱水平低粗蛋白质饲粮对生长猪生长性能、肉品质和血清氨基酸浓度的影响

李思思[1,2]　朱晓彤[2,3]　黎育颖[2]　尹　杰[2]　方　俊[1*]　李铁军[2,4*]

（1.湖南农业大学生物科学技术学院，长沙 410128；2.中国科学院亚热带农业生态所，亚热带农业生态过程重点实验室，湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心，农业部中南动物营养与饲料科学观测实验站，长沙 410125；3.广西师范大学生命科学学院，桂林 541004；4.湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128）

摘　要**:**本试验旨在研究不同高粱水平低粗蛋白质（CP）饲粮对生长猪生长性能、肉品质和血清氨基酸浓度的影响。试验选取 36 头体重（30±7） kg 的二元杂交（杜洛克×长白）生长猪，随机分为 6 个组，每组 6 个重复，每个重复 1 只猪。各组饲喂高粱和 CP 水平分别为 0 和 18%（A 组）、0 和 15%（B 组）、20%和 15%（C 组）、50%和 15%（D 组）、80%和 15%（E 组）、50%和 18%（F 组）的试验饲粮。预试期 6 d，正试期 35 d。结果表明：1)饲粮 CP 水平降低 3%的条件下，A 组和 B 组之间、D 组和 F 组之间平均日采食量、平均日增重和料重比没有显著差异（$P$＞0.05）。在饲粮 CP 水平为 18%的条件下，F 组平均日采食量极显著高于 A 组（$P$＜0.01），平均日增重显著高于 A 组（$P$＜0.05）。在饲粮 CP 水平为 15%的条件下，D 和 E 组平均日采食量极显著高于 B 组（$P$＜0.01），E 组平均日增重显著高于 B 组（$P$＜0.05）。2)各组之间肉品质指标均无显著差异($P$＞0.05)。3)饲粮 CP 水平降低 3%的条件下，

收稿日期：2018-02-06

基金项目：国家 973 课题（2013CB127301）；Jefo Nutrition Inc 合作项目；湖南省重点研发计划（2017NK2321）

作者简介：李思思（1992-），湖南宁乡人，女，硕士研究生，研究方向为动物营养。E-mail: 1132885997@qq.com

*通信作者：方　俊，教授，博士生导师，E-mail: fangjun1973@hunau.edu.cn；李铁军，研究员，博士生导师，E-mail: tjli@isa.ac.cn

A 组和 B 组之间前腔静脉、肠系膜静脉和门静脉血清氨基酸浓度差异不显著($P>0.05$)；在饲粮 CP 水平为 15%的条件下，与 B 组相比，C、D、E 组前腔静脉、肠系膜静脉和门静脉血清中必需氨基酸组氨酸浓度均降低，而前腔静脉中非必需氨基酸脯氨酸、丝氨酸、丙氨酸浓度升高，肠系膜静脉和门静脉血清中非必需氨基酸脯氨酸、丙氨酸浓度升高。由此可见，在饲粮 CP 水平为 15%的条件下，20%~80%高粱水平都可以替代玉米成为生长猪能量饲料原料。

关键词：高粱；生长猪；生长性能；肉品质；血清氨基酸

中图分类号：S828　　　　文献标识码：　　　　文章编号：



在日益发展的动物生产中，饲粮中粗蛋白质（CP）水平是解决饲养高成本和氮高排放量的关键。有研究表明，添加适当的合成必需氨基酸，降低饲粮中 CP 水平不会影响动物生长性能，并能减少氮排放[1]。同时，随着饲料业对谷物原料需求的增大，玉米作为最普遍的能量饲料原料来源，其供应日益紧缺，价格也随之增长，开发性价比高的能量饲料原料替代品变得非常重要。高粱作为五谷之一，是非常好的能量饲料原料来源。因此，降低饲粮中 CP 水平和用高粱作为动物饲料原料已引起人们的关注。有研究表明，畜禽以高粱为能量饲料原料的饲粮饲用价值和玉米相近，并且高粱中营养总量较高，有利于畜禽育肥[2]，但不同高粱水平对生长猪会产生不同的影响。故本试验以生长猪为研究对象，降低饲粮中 CP 水平，用不同高粱水平代替玉米-豆粕，探讨其对生长猪生长性能、肉品质和血清氨基酸浓度的影响，为低 CP 水平饲粮中添加高粱在生长猪上的应用提供依据。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验设计和试验饲粮

按照单因子设计，选取 36 头初始体重（30±7） kg 的健康二元杂交（杜洛克×长白）生长猪，随机分为 6 个组，每组 6 个重复，每个重复 1 只猪。各组饲喂高粱和 CP 水平分别为 0 和 18%（A 组）、0 和 15%（B 组）、20%和 15%（C 组）、50%和 15%（D 组）、80%和 15%

（E 组）、50%和 18%（F 组）的试验饲粮。试验设计见表 1。

表 1　试验设计

Table 1　Experimental design

| 项目 Items | 组别 Groups A | B | C | D | E | F |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 高粱水平 Sorghum level/% | | | 20 | 50 | 80 | 50 |
| 粗蛋白质水平 CP level/% | 18 | 15 | 15 | 15 | 15 | 18 |

饲粮参照 NRC（2012）生长猪营养需要配制，试验饲粮组成及营养水平见表 2。饲养试验于湖南新五丰股份有限公司永安分公司的中国科学院亚热带农业生态研究所动物实验基地进行。预试期 6 d，正试期 35 d。

表 2　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of experiment diets (air-dry basis)　%

| 项目 Items | 组别 Groups A | B | C | D | E | F |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 原料 Ingredients | | | | | | |
| 玉米 Corn | 46.10 | 58.69 | 44.52 | 21.25 | 0.57 | 10.58 |
| 豆粕 Soybean meal | 27.05 | 18.38 | 17.61 | 16.01 | 14.90 | 25.22 |
| 麦麸 Wheat bran | 19.23 | 15.07 | 11.42 | 7.30 | 0.52 | 10.31 |
| 高粱 Sorghum | | | 20.00 | 50.00 | 80.00 | 50.00 |
| 豆油 Soybean oil | 4.53 | 4.28 | 2.83 | 1.60 | | 0.72 |
| 赖氨酸 Lys | 0.23 | 0.47 | 0.51 | 0.57 | 0.63 | 0.30 |
| 蛋氨酸 Met | | | | 0.08 | 0.20 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 苏氨酸 Thr | | 0.11 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.01 |
| 色氨酸 Try | | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.05 | |
| 磷酸氢钙 $CaHPO_4$ | 0.69 | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.69 |
| 石粉 Limestone | 0.87 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.87 |
| 食盐 NaCl | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| 预混料 Premix[1)] | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels[2)] | | | | | | |
| 粗蛋白质 CP | 18.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 18.00 |
| 消化能 DE | 14.20 | 14.20 | 14.20 | 14.20 | 14.45 | 14.20 |
| 赖氨酸 Lys | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| 蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.47 | 0.47 |
| 苏氨酸 Thr | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| 色氨酸 Trp | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：Cu 150 mg，Fe 170 mg，Co 1.9 mg，Mn 80 mg，Zn 77 mg，I 0.3 mg，Se 0.12 mg，VA 24 375 IU，$VD_3$ 7 500 IU，VE 60 mg，$VK_3$ 7.5 mg，$VB_1$ 7.5 mg，$VB_2$ 18.75 μg，$VB_6$ 9 mg，$VB_{12}$ 75 mg，烟酸 nicotinic 75 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 37.5 mg，叶酸 3.75 mg，*D*-生物素 *D*-biotin 450 μg。

2)营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

## 1.2 饲养管理

试验前，将猪舍进行彻底消毒。试验开始后，对试验猪空腹称重、编号和分组，单栏饲养。试验猪日饲喂 4 次(08:00、10:00、14:00 和 18:00)，添料量以料槽内有少量剩料为准。整个试验期间猪进行自由采食、自由饮水，常规免疫、驱虫、消毒。

1.3 指标测定

1.3.1 生长性能

于试验第 1 天开始时，早晨对每头猪进行空腹称重，为初始体重；试验结束后（第 35 天）再次称重，记录终末体重，并计算每组猪的平均日增重（ADG）；记录每头猪每天的给料量和剩料量，计算每组猪的平均日采食量（ADFI）以及料重比（F/G）。计算公式如下：

平均日增重（kg/d）=（终末体重－初始体重）/试验天数；

平均日采食量（kg/d）=总采食量/试验天数；

料重比=平均日采食量/平均日增重。

1.3.2 肉品质指标测定

对试验猪注射麻药（舒泰 TM50）进行屠宰。背最长肌肉色[亮度（$L^*$）、红度（$a^*$）、黄度（$b^*$）]、肌肉 pH（$pH_{45min}$、$pH_{24h}$）、剪切力测定参照《猪肌肉品质测定技术规范》(NY/T 821-2004)进行。

1.3.3 血样的采集与测定

对试验猪进行前腔静脉、肠系膜静脉和门静脉采血，每头猪每种血样采集 10 mL，4 000 r/min 离心 10 min，将分离出的血清编号，放置冰盒，带回实验室-80 ℃保存备用。

吸取 0.5 mL 样品于 1.5 mL 离心管中，3 000 r/min 离心 5 min，准确吸取上清液于另一 1.5 mL 离心管中，加入等体积的 10%磺基水杨酸，振荡混匀，4 ℃静置 1 h；10 000 r/min 离心 15 min；取上清液，过 0.22 μm 膜后调整至合适浓度，用 L-8900 型高效氨基酸自动分析仪（日立公司，日本）测定。

1.4 数据处理与统计分析

试验数据经 Excel 2007 初步整理后，用统计软件 SPSS 19.0 中的 ANOVA 程序作方差分析，对方差进行 Duncan 氏法多重比较，数据均以平均值±标准误（means±SE）表示。$P<0.05$ 表示差异显著，$P<0.01$ 表示差异极显著。

## 2 结 果

### 2.1 不同高粱水平低 CP 饲粮对生长猪生长性能的影响

从表 3 可以看出，18%CP（A 组）和 15%CP（B 组）之间相比较，以及 50%高粱水平条件下的 18%CP（F 组）和 15%CP（D 组）之间相比较，生长猪饲粮 CP 水平降低 3%，平均日采食量、平均日增重和料重比没有显著差异（$P$＞0.05）。

在饲粮 CP 水平为 18%的条件下（A 和 F 组），与 A 组相比，50%高粱水平的 F 组生长猪平均日采食量提高了 28.90%，差异极显著（$P$＜0.01）；平均日增重提升了 15.07%，差异显著($P$＜0.05)；但料重比差异不显著（$P$＞0.05）。

在饲粮 CP 水平为 15%的条件下（B、C、D 和 E 组），与 B 组相比，20%高粱水平的 C 组生长猪平均日采食量降低了 6.31%，差异不显著（$P$＞0.05）；而 50%和 80%高粱水平的 D 和 E 组平均日采食量分别提高了 11.05%和 20.00%，差异极显著（$P$＜0.01）。与 B 组相比，20%和 50%高粱水平的 C 和 D 组生长猪平均日增重分别提高了 2.67%和 8.00%，但差异不显著（$P$＞0.05）；而 80%高粱水平的 E 组平均日增重提高了 18.67%，差异显著($P$＜0.05)。尽管料重比在 4 组之间没有显著性差异（$P$＞0.05），但与 B 组相比，C、D 和 E 组生长猪料重比分别增加了 2.82%、2.01%和 2.01%。

不同水平高粱组之间（C、D 和 E 组），生长猪平均日采食量和平均日增重随高粱水平升高而增大，饲粮 80%高粱水平对平均日采食量、平均日增重和料重比的影响反而要优于 20%和 50%高粱水平，这有待进一步研究。

表 3 不同高粱水平低 CP 饲粮对生长猪生长性能的影响

Table 3 Effects of different sorghum levels of low CP diet on growth performance of growing pigs ($n$=6)

| 项目 | 组别 Groups | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Items | A | B | C | D | E | F |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 初重 Initial weight/kg | 30.00±1.40 | 30.00±1.62 | 30.00±1.58 | 30.00±1.75 | 30.00±1.42 | 30.00±1.59 |
| 末重 Final weight/kg | 55.38±1.63 | 56.15±2.26 | 56.93±2.00 | 58.62±2.78 | 60.55±2.39 | 59.22±2.90 |
| 平均日采食量 ADFI/(kg/d) | 1.73±0.06[Bb] | 1.90±0.029[Bb] | 1.78±0.06[Bb] | 2.11±0.07[Aa] | 2.28±0.06[Aa] | 2.23±0.02[Aa] |
| 平均日增重 ADG/(kg/d) | 0.73±0.02[c] | 0.75±0.02[bc] | 0.77±0.04[bc] | 0.81±0.03[abc] | 0.89±0.02[a] | 0.84±0.05[ab] |
| 料重比 F/G | 2.41±0.06 | 2.48±0.05 | 2.55±0.08 | 2.53±0.07 | 2.53±0.06 | 2.55±0.02 |

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），不同大写字母表示差异极显著（$P<0.01$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

## 2.2 不同高粱水平低 CP 饲粮对生长猪肉品质指标的影响

从表 4 可以看出，18%CP（A 组）和 15%CP（B 组）之间相比较，以及 50%高粱水平条件下的 18%CP（F 组）和 15%CP（D 组）之间相比较，生长猪饲粮 CP 水平降低 3%，生长猪肌肉 $pH_{45min}$、$pH_{24h}$、肉色($L^*$、$a^*$、$b^*$值)、剪切力差异不显著($P>0.05$)。

在饲粮 CP 水平为 18%的条件下（A、F 组），与 A 组相比，50%高粱水平的 F 组生长猪肌肉 $pH_{45min}$、$pH_{24h}$、肉色($L^*$、$a^*$、$b^*$值)、剪切力差异不显著($P>0.05$)。

在饲粮 CP 水平为 15%的条件下（B、C、D 和 E 组），B、C、D 和 E 组之间生长猪肌肉 $pH_{45min}$、$pH_{24h}$、肉色($L^*$、$a^*$、$b^*$值)、剪切力差异不显著($P>0.05$)；但与 B 组相比，20%

高梁水平的 C 组肌肉剪切力增加了 4.76%，而 80%高梁水平的 E 组肌肉剪切力降低了 14.57%。

不同水平高梁组之间（C、D 和 E 组），随着饲粮高梁水平的增加，生长猪肌肉剪切力有下降的趋势。

表 4　不同高梁水平低 CP 饲粮对生长猪肉品质的影响

Table 4　Effects of different sorghum levels of low CP diet on meat quality of growing pigs ($n$=6)

| 项目 Items | 组别 Groups | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| $pH_{45min}$ | 6.51±0.04 | 6.58±0.05 | 6.50±0.07 | 6.67±0.06 | 6.53±0.03 | 6.43±0.13 |
| $pH_{24h}$ | 6.65±0.01 | 6.64±0.04 | 6.66±0.01 | 6.61±0.02 | 6.65±0.01 | 6.54±0.07 |
| 亮度 $L^*$ | 48.53±1.09 | 47.81±0.79 | 49.65±1.96 | 47.96±0.91 | 47.29±0.69 | 46.85±1.01 |
| 红度 $a^*$ | 15.48±0.29 | 14.30±0.34 | 14.64±0.55 | 15.93±0.46 | 14.77±0.40 | 14.90±0.35 |
| 黄度 $b^*$ | 5.57±0.38 | 5.45±0.30 | 5.87±0.51 | 5.85±0.46 | 5.04±0.16 | 5.27±0.22 |
| 剪切力 Shear force/N | 69.77±5.87 | 67.06±6.02 | 70.25±1.43 | 66.63±2.03 | 57.29±3.40 | 63.82±4.62 |

### 2.3　不同高梁水平低 CP 饲粮对血清氨基酸浓度的影响

#### 2.3.1　不同高梁水平低 CP 饲粮对前腔静脉血清氨基酸浓度的影响

从表 5 可以看出，在饲粮 CP 水平为 18%的条件下（A 和 F 组），与 A 组相比，50%高梁水平的 F 组前腔静脉血清氨基酸浓度没有显著差异（$P$>0.05）。

18%CP（A 组）和 15%CP（B 组）之间相比较，生长猪饲粮 CP 水平降低 3%，前腔静脉血清氨基酸浓度没有显著差异（$P$>0.05）；而 50%高梁条件下的 18%CP（F 组）和 15%CP（D 组）相比较，生长猪饲粮 CP 水平降低 3%，必需氨基酸组氨酸（His）浓度降低了 40.55%，

差异极显著($P<0.01$)；非必需氨基酸脯氨酸（Pro）、丝氨酸（Ser）、丙氨酸（Ala）和天冬氨酸（Asp）浓度分别升高了 17.69%、35.10%、33.87%和 30.00%，差异显著($P<0.05$)。

在饲粮 CP 水平为 15%的条件下（B、C、D 和 E 组），与 B 组相比，20%、50%和 80%高粱水平的 C、D、E 组必需氨基酸 His 浓度分别降低了 19.01%、28.93%和 43.72%，差异极显著($P<0.01$)，赖氨酸（Lys）浓度分别升高了 18.72%($P>0.05$)、30.59%($P<0.05$)和 38.96%($P<0.05$)；非必需氨基酸 Ser 浓度分别升高了 16.77%($P>0.05$)、52.70%($P<0.05$)和 31.39%($P<0.05$)，Pro 浓度分别升高了 10.55($P>0.05$)、19.69%($P<0.05$)和 26.53%($P<0.05$)，甘氨酸（Gly）浓度分别升高了 10.68%($P>0.05$)、11.64%($P>0.05$)和 51.90%($P<0.05$)，Ala 浓度分别升高了 7.79%($P>0.05$)、25.53%($P>0.05$)和 27.19%($P>0.05$)，而 Asp 浓度分别降低了 38.33%($P<0.05$)、3.70%($P>0.05$)和 2.69%($P>0.05$)。

不同水平高粱组之间（C、D 和 E 组），随着高粱水平的增加，必需氨基酸 His 浓度随之降低，而 Lys 浓度随之升高；非必需氨基酸 Pro、Gly、Ala 和 Asp 浓度随之升高，Ser 浓度在 50%高粱水平的条件下最高。

表 5　不同高粱水平低 CP 饲粮对生长猪前腔静脉血清氨基酸的影响

Table 5　Effects of different sorghum levels of low CP diet on anterior vena cava serum amino acids of growing pigs ($n$=6)

| 项目 Items | 组别 Groups | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| 必需氨基酸 EAA | | | | | | |
| 赖氨酸 Lys | 29.39±2.26[b] | 30.24±0.61[b] | 35.90±1.76[ab] | 39.49±3.64[a] | 42.02±3.51[a] | 36.57±1.85[ab] |
| 蛋氨酸 Met | 6.46±0.28 | 7.13±0.77 | 7.65±0.61 | 7.87±0.43 | 8.86±0.66 | 7.26±0.41 |
| 苏氨酸 Thr | 12.39±0.69 | 14.50±2.05 | 15.06±1.33 | 17.29±0.56 | 16.61±1.45 | 16.72±0.49 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 色氨酸 Trp | 7.68±0.05 | 7.99±0.78 | 7.30±0.86 | 7.90±0.19 | 8.41±0.84 | 9.18±0.49 |
| 亮氨酸 Leu | 29.16±2.54 | 24.86±1.48 | 26.17±3.63 | 28.07±1.16 | 32.98±2.27 | 28.93±0.43 |
| 异亮氨酸 Ile | 20.22±1.42 | 18.33±0.67 | 16.81±2.63 | 19.07±1.55 | 20.45±1.33 | 20.35±0.04 |
| 缬氨酸 Val | 32.96±3.22 | 29.35±1.61 | 26.42±4.29 | 29.89±4.35 | 32.94±5.20 | 36.34±0.61 |
| 组氨酸 His | 10.67±0.20[Aa] | 9.47±0.44[Aa] | 7.67±1.12[BCbc] | 6.73±0.96[CDcd] | 5.33±0.86[Dd] | 11.32±0.25[Aa] |
| 苯丙氨酸 Phe | 13.38±0.56 | 13.18±0.55 | 11.72±0.88 | 13.40±0.67 | 15.34±1.26 | 14.60±0.30 |
| 非必需氨基酸 NEAA | | | | | | |
| 精氨酸 Arg | 27.71±1.31 | 35.03±4.19 | 23.72±1.59 | 30.97±2.37 | 34.24±2.70 | 32.10±2.20 |
| 丝氨酸 Ser | 16.36±0.81[bc] | 13.89±1.12[c] | 16.22±0.71[bc] | 21.21±0.13[a] | 18.25±1.30[b] | 15.70±0.83[bc] |
| 甘氨酸 Gly | 58.55±1.78[b] | 59.35±8.28[b] | 65.69±5.02[b] | 66.26±5.70[b] | 90.15±2.80[a] | 63.32±11.19[b] |
| 丙氨酸 Ala | 35.12±1.19[b] | 41.59±4.78[ab] | 44.83±1.55[ab] | 52.21±1.50[a] | 52.90±5.43[a] | 39.00±5.60[b] |
| 天冬氨酸 Asp | 4.56±0.26[ab] | 5.40±0.33[a] | 3.33±0.44[c] | 5.20±0.10[a] | 5.26±0.56[a] | 4.00±0.44[bc] |
| 谷氨酸 Glu | 44.62±2.30 | 57.77±6.72 | 39.28±3.15 | 52.88±7.45 | 61.06±5.48 | 40.05±5.11 |
| 脯氨酸 Pro | 21.33±0.62[b] | 21.79±1.98[b] | 24.09±0.48[ab] | 26.08±0.72[a] | 27.57±1.54[a] | 22.16±0.89[b] |
| 半胱氨酸 Cys | 4.51±0.05 | 4.50±0.71 | 4.24±0.13 | 4.30±0.58 | 3.40±0.19 | 4.07±0.48 |
| 酪氨酸 Tyr | 14.26±0.36 | 17.20±2.06 | 15.29±1.02 | 17.41±0.89 | 14.78±2.00 | 15.98±0.06 |

2.3.2　不同高粱水平低 CP 饲粮对肠系膜静脉血清氨基酸浓度的影响

从表 6 可以看出，在饲粮 CP 水平为 18%的条件下（A 和 F 组），与 A 组相比，50%高粱水平的 F 组肠系膜静脉血清氨基酸浓度差异不显著($P$>0.05)。

18%CP（A 组）和 15%CP（B 组）之间相比较，肠系膜静脉血清氨基酸浓度差异不显著($P$>0.05)。而 50%高粱水平条件下的 18%CP（F 组）和 15%CP（D 组）之间相比较，生长猪饲粮 CP 水平降低 3%，必需氨基酸 His 浓度降低了 28.59%，差异极显著($P$＜0.01)；非必需氨基酸 Pro、Ala 和谷氨酸（Glu）浓度分别升高了 22.91%、50.62%和 55.87%，差异极

显著(*P*＜0.01)。

在饲粮 CP 水平为 15%的条件下（B、C、D 和 E 组），与 B 组相比，20%、50%和 80%高粱水平的 C、D、E 组必需氨基酸 His 浓度分别降低了 19.05%(*P*＞0.05)、33.00%(*P*＜0.05)和 53.28%(*P*＜0.01)；非必需氨基酸 Pro 浓度分别升高了 10.51%(*P*＞0.05)、17.45%(*P*＜0.01)和 12.61%(*P*＜0.01)，Ala 浓度分别升高了 20.64%(*P*＞0.05)、46.60%(*P*＜0.01)和 23.15%(*P*＜0.01)。

不同水平高粱组之间（C、D 和 E 组），随着高粱水平的增加，必需氨基酸 His 浓度随之降低。

表 6　不同高粱水平低 CP 饲粮对生长猪肠系膜静脉血清氨基酸的影响

Table 6　Effects of different sorghum levels of low CP diet on mesenteric vein serum amino acids of growing pigs (*n*=6)

| 项目 Items | 组别 Groups | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| 必需氨基酸 EAA | | | | | | |
| 赖氨酸 Lys | 38.34±0.31 | 39.45±7.50 | 42.75±2.08 | 51.22±1.69 | 46.73±2.14 | 38.52±3.52 |
| 蛋氨酸 Met | 7.81±0.36 | 7.81±0.58 | 8.39±0.41 | 8.81±5.55 | 8.79±6.68 | 7.76±0.69 |
| 苏氨酸 Thr | 14.88±2.15 | 17.27±2.25 | 17.48±1.10 | 17.58±0.57 | 15.54±0.99 | 15.98±0.52 |
| 色氨酸 Trp | 10.45±0.50 | 11.30±1.83 | 9.33±1.24 | 8.80±0.36 | 8.92±0.80 | 10.42±0.14 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 亮氨酸 Leu | 32.40±1.54 | 30.62±3.42 | 30.35±4.73 | 35.63±1.05 | 31.68±0.77 | 31.78±0.63 |
| 异亮氨酸 Ile | 23.33±1.85 | 21.29±2.61 | 18.58±3.50 | 23.64±0.06 | 20.11±0.39 | 22.37±0.78 |
| 缬氨酸 Val | 36.60±3.48 | 35.36±2.43 | 29.88±5.29 | 34.27±3.23 | 30.14±1.90 | 40.15±0.83 |
| 组氨酸 His | 13.70±0.75$^{Aa}$ | 13.12±1.61$^{Aa}$ | 10.62±1.75$^{ABab}$ | 8.79±0.05$^{BCbc}$ | 6.13±0.47$^{Cc}$ | 12.31±0.96$^{Aa}$ |
| 苯丙氨酸 Phe | 15.59±1.49 | 15.54±1.61 | 13.65±1.41 | 17.59±0.12 | 14.85±0.64 | 15.93±1.13 |
| 非必需氨基酸 NEAA | | | | | | |
| 精氨酸 Arg | 35.49±4.38 | 47.38±6.01 | 37.00±3.28 | 40.64±6.49 | 36.76±1.74 | 36.85±2.99 |
| 丝氨酸 Ser | 18.94±0.47 | 16.39±2.19 | 18.49±1.49 | 19.39±0.92 | 17.98±0.44 | 15.98±0.08 |
| 甘氨酸 Gly | 70.09±1.17 | 78.11±3.25 | 89.98±8.90 | 85.77±16.89 | 101.36±10.00 | 70.69±6.11 |
| 丙氨酸 Ala | 43.19±0.32$^{Dd}$ | 45.97±3.50$^{CDcd}$ | 55.46±3.89$^{BCbc}$ | 67.39±3.65$^{Aa}$ | 56.61±0.84$^{Bb}$ | 44.74±5.22$^{Dd}$ |
| 天冬氨酸 Asp | 5.45±1.30 | 5.11±0.09 | 4.61±0.61 | 6.22±0.37 | 6.07±0.44 | 3.26±0.38 |
| 谷氨酸 Glu | 53.57±2.46$^{Bb}$ | 55.18±0.78$^{Bb}$ | 55.01±4.75$^{Bb}$ | 70.42±4.36$^{Aa}$ | 68.95±5.10$^{Aa}$ | 45.18±1.49$^{Bb}$ |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 脯氨酸 Pro | 24.65±0.33[Cc] | 25.21±0.73[BCbc] | 27.86±0.37[ABab] | 29.61±1.04[Aa] | 28.39±0.24[Aa] | 24.09±1.82[Cc] |
| 半胱氨酸 Cys | 4.42±0.31 | 4.54±0.74 | 3.82±0.52 | 4.87±0.80 | 4.44±0.51 | 2.65±0.40 |
| 酪氨酸 Tyr | 15.57±0.85 | 19.44±2.56 | 18.75±1.74 | 19.87±0.36 | 16.95±0.54 | 17.32±1.70 |

2.3.3　不同高粱水平低 CP 饲粮对门静脉血清氨基酸浓度的影响

从表 7 可以看出，在饲粮 CP 水平为 18%的条件下（A 和 F 组），与 A 组相比，50%高粱水平的 F 组门静脉血清非必需氨基酸 Pro 和 Ala 浓度分别升高了 19.35%和 32.39%，差异极显著($P<0.01$)。

18%CP（A 组）和 15%CP（B 组）之间相比较，门静脉血清氨基酸浓度没有显著差异（$P>0.05$）；而 50%高粱条件下的 18%CP（F 组）和 15%CP（D 组）之间相比较，生长猪饲粮 CP 水平降低 3%，必需氨基酸 His 浓度降低了 38.49%，差异极显著($P<0.01$)；非必需氨基酸 Ala、Glu 和 Pro 浓度升高了 22.39%($P<0.01$)、49.54%($P<0.05$)和 9.83%($P<0.01$)。

在饲粮 CP 水平为 15%的条件下（B、C、D 和 E 组），与 B 组相比，20%、50%和 80%高粱水平的 C、D、E 组必需氨基酸 His 浓度分别降低了 21.40%($P>0.05$)、30.20%($P>0.05$)和 49.10%($P<0.01$)；非必需氨基酸 Pro 浓度分别升高了 7.63%($P>0.05$)、29.71%($P<0.01$)和 32.94%($P<0.01$)，Ala 浓度分别升高了 7.76%($P>0.05$)、30.96%($P<0.01$)和 36.45%($P<0.01$)，Glu 浓度分别降低了 7.09%($P>0.05$)、23.86%($P>0.05$)和 43.07%($P<0.05$)。

不同水平高粱组之间（C、D 和 E 组），随着高粱水平的增加，必需氨基酸 His 浓度随之降低；而非必需氨基酸 Pro、Glu 和 Ala 浓度随之升高。

表 7　不同高粱水平低 CP 饲粮对生长猪门静脉血清氨基酸的影响

Table 7　Effects of different sorghum levels of low CP diet on portal vein serum amino acids of

growing pigs (*n*=6)

| 项目 Items | 组别 Groups | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| 必需氨基酸 EAA | | | | | | |
| 赖氨酸 Lys | 32.87±1.67 | 32.11±4.00 | 36.04±1.67 | 43.98±5.59 | 42.37±3.33 | 36.47±1.51 |
| 蛋氨酸 Met | 7.12±0.40 | 6.89±0.07 | 7.60±0.19 | 8.25±0.86 | 7.90±0.50 | 7.00±0.36 |
| 苏氨酸 Thr | 12.98±1.16 | 13.13±0.44 | 13.88±1.39 | 16.12±1.67 | 14.67±0.41 | 15.97±1.93 |
| 色氨酸 Trp | 9.90±1.30 | 8.11±0.38 | 7.80±0.59 | 8.13±0.74 | 8.18±0.91 | 10.33±1.02 |
| 亮氨酸 Leu | 28.90±2.73 | 24.26±1.28 | 24.90±1.38 | 30.93±2.49 | 29.21±3.08 | 32.24±1.96 |
| 异亮氨酸 Ile | 21.65±0.97 | 18.64±0.93 | 16.40±2.57 | 20.71±2.73 | 19.36±0.94 | 22.58±1.40 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 缬氨酸 Val | 34.01±3.44 | 29.93±0.40 | 27.09±3.52 | 30.81±5.34 | 29.58±3.94 | 39.46±4.12 |
| 组氨酸 His | 10.88±1.03$^{ABab}$ | 10.00±0.34$^{ABCabc}$ | 7.86±0.77$^{BCDbcd}$ | 6.98±0.87$^{CDcd}$ | 5.09±1.60$^{Dd}$ | 11.35±1.32$^{Aa}$ |
| 苯丙氨酸 Phe | 14.01±2.00 | 11.99±0.70 | 11.59±0.36 | 14.43±1.40 | 13.80±0.61 | 14.48±1.50 |
| 必需氨基酸 NEAA | | | | | | |
| 精氨酸 Arg | 27.30±2.14 | 36.03±0.51 | 25.51±2.60 | 32.15±1.12 | 27.63±6.31 | 31.63±1.99 |
| 丝氨酸 Ser | 17.28±1.51 | 14.12±1.11 | 18.46±2.53 | 18.82±0.77 | 18.81±0.61 | 19.55±0.29 |
| 甘氨酸 Gly | 52.29±3.20 | 61.92±3.91 | 68.69±10.00 | 67.76±4.76 | 81.23±2.80 | 66.49±5.34 |
| 丙氨酸 Ala | 33.13±1.00$^{Dd}$ | 40.99±3.77$^{CDcd}$ | 44.17±4.29$^{BCbc}$ | 53.68±1.41$^{ABab}$ | 55.93±1.47$^{Aa}$ | 43.86±4.06$^{Cc}$ |
| 天冬氨酸 | 4.70±0.35 | 4.29±0.44 | 4.27±0.78 | 5.67±0.18 | 6.49±1.22 | 3.70±0.23 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Asp | | | | | | |
| 谷氨酸 Glu | 60.55±2.71$^{abc}$ | 52.06±5.48$^{bc}$ | 48.37±7.82$^{bc}$ | 64.48±4.15$^{ab}$ | 74.48±10.17$^{a}$ | 43.12±3.18$^{c}$ |
| 脯氨酸 Pro | 20.88±0.77$^{Cc}$ | 21.10±0.57$^{Cc}$ | 22.71±1.24$^{BCbc}$ | 27.37±0.51$^{Aa}$ | 28.05±0.50$^{Aa}$ | 24.92±0.83$^{Bb}$ |
| 半胱氨酸 Cys | 4.10±0.03 | 4.13±0.11 | 4.37±0.18 | 3.96±0.14 | 4.29±0.22 | 4.45±0.96 |
| 酪氨酸 Tyr | 15.33±2.95 | 16.05±0.67 | 15.35±0.86 | 18.22±1.56 | 15.86±1.93 | 16.42±1.72 |

## 3 讨　论

### 3.1 不同高粱水平低 CP 饲粮对生长猪生长性能的影响

国内外研究表明，低 CP 饲粮有利于动物和环境等，而饲粮 CP 水平下降 2%~3%，对猪的生长性能影响不大[3-7]。本研究结果表明，生长猪饲粮 CP 水平降低 3%，对生长猪生长性能影响不显著，和国内外许多研究结果一致。被誉为“铁杆庄稼”的高粱，比玉米、小麦等原料价格更经济，并且它适应更广的生长环境条件，因此用高粱替代玉米等原料可降低饲料成本，提高产品经济效益[8]。高粱代替玉米应用于家禽和猪的试粮，在美国已较为广泛[9]。但是高粱中含有多种抗营养因子，影响动物对氨基酸等的利用率，研究表明，高粱替代 30%和全部比例的玉米均对生长猪的生长性能有不利影响[10]。但是 Nyannor 等[11]研究表明，以生长猪为研究对象，饲喂高粱饲粮，与玉米-豆粕型饲粮组相比较，猪对高粱中干物质、能

量、磷、钙、氮的回肠和全肠道消化利用率没有显著差异，高粱可以替代生长猪饲粮中的玉米。在本研究中，饲粮高粱水平为50%、80%时，提高了平均日增重；饲粮高粱水平为20%、50%、80%时，均提高了平均日采食量，对料重比影响不显著，并且随着高粱水平增加，平均日采食量和平均日增重逐渐提高；这与Benz等[12]研究高粱-豆粕型饲粮的平均日增重比玉米-豆粕型饲粮高的结论一致。因此，低CP高粱饲粮对生长猪生长性能无不利影响，可作为生长猪常规饲粮使用。

### 3.2 不同高粱水平低CP饲粮对生长猪肉品质的影响

猪肉肉品质评定重要指标有pH、嫩度、肉色等。pH可以反映机体宰杀后肌糖原酵解速度；肉色用$L^*$、$a^*$、$b^*$值表示,一般根据$L^*$值越小、$a^*$值越大、$b^*$值越小，判断其肉色越好；而剪切力反映肉的嫩度。霍永久等[13]研究发现，饲粮CP水平对猪肌肉pH、肉色等无显著影响，本试验也获得了类似结果。不同高粱水平低CP饲粮对背最长肌$pH_{45min}$、$pH_{24h}$、$L^*$值、$a^*$值、$b^*$值和剪切力的影响均不显著。而所有组的pH在6.5~6.7，pH明显偏高，可能是屠宰过程中机体产生应激反应消耗过多肌糖。与B组相比，肌肉剪切力会随高粱水平的不同而变化，20%高粱水平剪切力增大，50%高粱水平剪切力差异不大，而80%高粱水平剪切力反而减小；显然，随高粱水平增多，其剪切力减小，肌肉越嫩。

### 3.3 不同高粱水平低CP饲粮对生长猪血清氨基酸浓度的影响

氨基酸是蛋白质的基本单位，在动物体生长发育和机体代谢中起着至关重要的作用。早已有研究确定动物氨基酸需要量和血液中游离氨基酸浓度有关[14]。还有试验表明，动物进食后，血液中游离氨基酸迅速累积[15]。血清中氨基酸浓度是研究氨基酸平衡模式的重要依据。本试验结果表明，不同高粱水平低CP饲粮对血清氨基酸浓度影响程度不同。前腔静脉血清中Asp浓度降低，20%高粱水平其降低最明显，但是Ser和Gly浓度随高粱水平的增多而增高；肠系膜静脉和门静脉血清中His浓度随高粱水平的增多而减少；但是门静脉血清中Ala和Pro浓度随高粱水平的增多而增高，肠系膜静脉血清中Ala和Pro浓度均提高了，而

都在 50%高粱水平条件下其氨基酸浓度增加的最多，而 Glu 浓度的升高仅在 50%和 80%高粱水平条件下。研究表明，His 可缓解机体氧化应激损伤，并增强其抗氧化力[16]。Asp 通过脂多糖影响猪日增重及肠道黏膜损伤[17-18]。但是从本研究结果看，血清中 His 和 Asp 浓度降低，并未对生长猪生长性能产生不利影响。Gly 可影响动物免疫调节和炎症反应，从而降低传染病的产生。Ser 影响一碳代谢，还有 *D*-Ser 影响机体大脑中的 N-甲基-*D*-天冬氨酸（NMDA）受体[19]。Wu[20]发现 Pro 影响机体免疫，Pro 对猪的生长发育起着重要的作用。Ala 直接影响机体转氨作用、器官间碳/氮的代谢和运输。饲粮中 90%的 Glu 在小肠内被大量代谢，较少部分 Glu 进入猪门静脉，是小肠的主要供能物质[21-23]。这几种氨基酸的提升都有利于动物的生长发育。因此，从试验结果可以得出，血清中游离氨基酸浓度降低，有可能提高了氨基酸利用率，其具体原因还需进一步试验研究。

## 4 结　论

①不同高粱水平低 CP 饲粮对生长猪生长性能无不利影响，但 50%高粱水平降低前腔静脉、肠系膜静脉和门静脉血清中必需氨基酸 His 浓度，影响了前腔静脉中非必需氨基酸 Pro、Ser、Ala 和 Asp 浓度，以及肠系膜静脉和门静脉血清中非必需氨基酸 Pro、Ala 和 Glu 浓度。

②在饲粮 CP 水平为 15%的条件下，20%、50%和 80%高粱水平对生长猪生长性能未产生不利影响。因此，生长猪饲粮 CP 水平降低 3%，且 20%~80%高粱水平可以在养猪生产实践中加以应用。

参考文献：

[1] DENG D,HUANG R L,LI T J,et al.Nitrogen balance in barrows fed low-protein diets supplemented with essential amino acids[J].Livestock Science,2007,109(1/2/3):220–223.

[2] 米雁,朱琳娜,陈国莹,等.酶制剂在高粱基础型日粮中的研究与应用[J].广东饲料,2015,24(8):31–33.

[3] LE BELLEGO L,NOBLET J.Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets[J].Livestock Production Science,2002,76(1/2):45–58.

[4] KERR B J,EASTER R A.Effect of feeding reduced protein,amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs[J].1995,73,3000-3008.

[5] FIGUEROA J L,LEWIS A J,MILLER P S,et al.Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein,amino acid-supplemented diets[J].Journal of Animal Science,2002,80(11):2911–2919.

[6] KERR B J,SOUTHERN L L,BIDNER T D,et al.Influence of dietary protein level,amino acid supplementation,and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition[J].Journal of Animal Science,2003,81(12):3075–3087.

[7] 伍树松,易学武,杨强,等.低蛋白日粮对生长猪及育肥猪的影响[J].湖南饲料,2009(8):17–20,30.

[8] 徐运杰.高粱在畜禽日粮中的应用研究[J].饲料与畜牧,2014(12):33–35.

[9] 牛自兵.高粱在猪饲料中的应用[J].饲料博览,2017(3):31–33.

[10] 罗佳捷,肖淑华,张彬,等.高粱和小麦替代玉米对生长猪生产性能的影响[J].饲料博览,2015(1):5–8.

[11] NYANNOR E K D,ADEDOKUN S A,HAMAKER B R,et al.Nutritional evaluation of high-digestible sorghum for pigs and broiler chicks[J].Journal of Animal Science,2007,85(1):196–203.

[12] BENZ J M,TOKACH M D,DRITZ S S,et al.Effects of increasing choice white grease in corn- and sorghum-based diets on growth performance,carcass characteristics,and fat quality characteristics of finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2011,89(3):773–782.

[13] 霍永久,占今舜,余同水,等.饲粮不同蛋白质水平对淮猪生长性能、肉品质和血清生化指

标的影响[J].草业学报,2015,24(6):133–141.

[14] ZIMMERMAN R A,SCOTT H M.Interrelationship of plasma amino acid levels and weight gain in the chick as influenced by suboptimal and superoptimal dietary concentrations of single amino acids[J].The Journal of Nutrition,1965,87(1):13–18.

[15] 王利剑,崔志杰,何流琴,等.断奶仔猪血清氨基酸含量和生化参数对不同蛋白质水平饲粮的动态响应[J].动物营养学报,2017,29(1):50–59.

[16] KOPEĆ W,JAMROZ D,WILICZKIEWICZ A,et al.Influence of different histidine sources and zinc supplementation of broiler diets on dipeptide content and antioxidant status of blood and meat[J].British Poultry Science,2013,54(4):454–465.

[17] 石海峰,刘玉兰,李爽,等.天冬氨酸对脂多糖刺激断奶仔猪生长性能、血细胞分类计数和血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2013,49(7):38–43.

[18] 刘称.天冬氨酸/天冬酰胺对脂多糖刺激仔猪肠黏膜免疫屏障损伤的调控作用[D].硕士学位论文.武汉:武汉轻工大学,2014.

[19] 伍国耀,武振龙,戴兆来,等.猪对“非必需氨基酸”的营养需要[J].饲料工业,2013,34(16):60–64.

[20] WU G Y.Functional amino acids in growth,reproduction,and health[J].Advances in Nutrition,2010,1(1):31–37.

[21] WINDMUELLER H G,SPAETH A E.Respiratory fuels and nitrogen metabolism *in vivo* in small intestine of fed rats.Quantitative importance of glutamine,glutamate,and aspartate[J].Journal of Biological Chemistry,1980,255(1):107–112.

[22] REEDS P J,BURRIN D G,STOLL B,et al.Intestinal glutamate metabolism[J].The Journal of Nutrition,2000,130(4):978S–982S.

[23] STOLL B,BURRIN D G,HENRY J,et al.Substrate oxidation by the portal drained viscera of

fed piglets[J].American Journal of Physiology,1999,277(1):E168–E175.

Effects of Different Sorghum Level of Low Crude Protein Diet on Growth Performance, Meat Quality and Serum Amino Acid Concentration of Growing Pigs

LI Sisi[1,2] ZHU Xiaotong[2,3] LI Yuying[2] YIN Jie[2] FANG Jun[1*] LI Tiejun[2,4*]

（1. *College of Bioscience and Biotechnology*, *Hunan Agriculture University*, *Changsha* 410128, *China*; 2. *Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region*, *Institute of Subtropical Agriculture*, *Chinese Academy of Sciences*, *Hunan Provincial Engineering Research Center for Healthy Livestock and Poultry Production*, *Scientific Observing and Experimental Station of Animal Nutrition and Feed Science in South-Central, Ministry of Agriculture*, *Changsha* 410125, *China*; 3. *College of Life Science*, *Guangxi Normal University*, *Guilin* 541004, *China*; 4. *Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety*, *Changsha* 410128, *China*）

Abstract: This study was to investigate the effects of different sorghum level of low crude protein (CP) diet on growth performance, meat quality and serum amino acid concentration of growing pigs. Thirty-six crossbred (Duroc×Landrace) growing pigs with body weight of (30±7) kg were randomly divided into 6 groups with 6 replicates per group and 1 pig per replicate. Pigs in the six groups were fed the experimental diets which the sorghum and CP levels were 0 and 18% （group A 组）, 0 and 15%（group B）, 20% and 15%（group C）, 50% and 15%（group D）, 80% and 15%（group E）, 50% and 18%（group F）, respectively. The pre-experimental period lasted for 6 days, and the experimental period lasted for 35 days. The results showed as follows: 1) when dietary CP level reduced 3%, there were no significant differences on the average daily feed intake,

*Corresponding authors: FANG Jun, professor, E-mail: fangjun1973@hunau.edu.cn; LI Tiejun, professor, E-mail: tjli@isa.ac.cn （责任编辑　武海龙）

average daily gain and feed to gain ratio between group A and group B, group D and group F ($P>0.05$). When dietary CP level was 18%, the average daily feed intake of group F was significantly higher than that of group A （$P<0.01$）, and the average daily gain was significantly higher than that of group A （$P<0.05$）. When dietary CP level was 15%, the average daily feed intake of groups D and E was significantly higher than that of group B （$P<0.01$）, the average daily gain of group E was significantly higher than that of group B （$P<0.05$）. 2) There were no significant differences on meat quality indices among all groups ($P>0.05$). 3) When dietary CP level reduced 3%, there were no significant differences on the serum amino acid concentration in anterior vena cava, mesenteric vein and portal vein between group A and group B ($P>0.05$). When dietary CP level was 15%, compared with group B, the serum essential amino acid histidine concentration in anterior vena cava, mesenteric vein and portal vein of groups C, D and E was decreased, the concentrations of nonessential amino acid proline, serine and alanine in anterior vena cava serum were increased, the concentrations of nonessential amino acid proline and alanine in mesenteric vein and portal vein serum were increased. In conclusion, 20% to 80% of sorghum level can replace corn as the energy raw material for growing pigs when dietary CP level is 15%.

Key words: sorghum; growing pigs; growth performance; meat quality; serum amino acids